

(12)特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局(43) 国際公開日
2004 年 4 月 15 日 (15.04.2004)

PCT

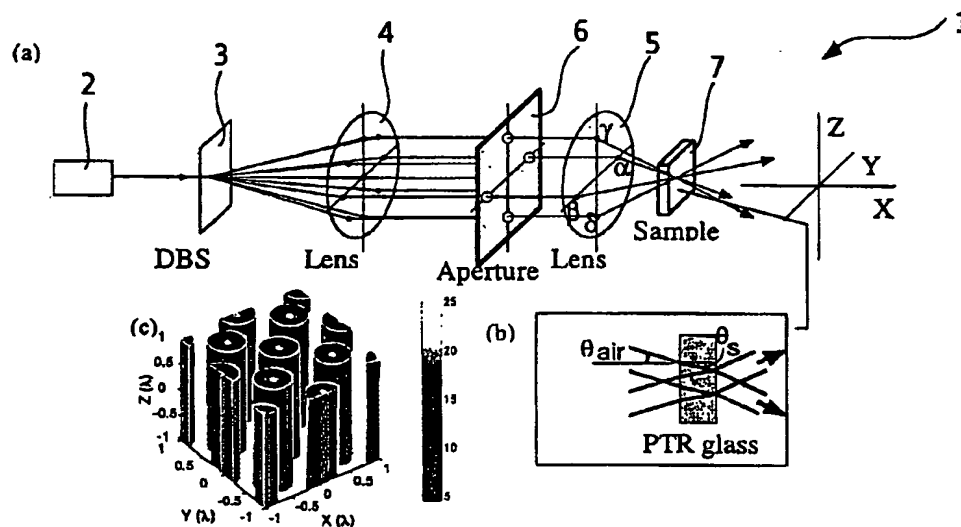
(10) 国際公開番号
WO 2004/031866 A1

- (51) 国際特許分類: G03H 1/04, G02B 5/18, 1/02 (72) 発明者; および
(75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 三澤 弘明
(MISAWA, Hiroaki) [JP/JP]; 〒770-8031 徳島県 徳島
(21) 国際出願番号: PCT/JP2003/012344 市 大谷町大開 4 0-3 9 Tokushima (JP). ヨードカ
(22) 国際出願日: 2003 年 9 月 26 日 (26.09.2003) ジス サウリウス (JUODKAZIS, Saulius) [LT/JP]; 〒
770-8070 徳島県 徳島市 八万町柿谷 1 2 番地 シヤ
(25) 国際出願の言語: 日本語 ンポロー林 2 0 7 号室 Tokushima (JP). 松尾 繁樹
(26) 国際公開の言語: 日本語 (MATSUO, Shigeki) [JP/JP]; 〒770-0812 徳島県 徳島
市 北常三島町 2-5 2-3 Tokushima (JP). 近藤 敏明
(30) 優先権データ: (KONDO, Toshiaki) [JP/JP]; 〒770-8041 徳島県 徳島市
上八万町西山 8 7 2 番地 Tokushima (JP).
特願2002-291648 2002 年 10 月 3 日 (03.10.2002) JP
(71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 独立
行政法人科学技術振興機構 (JAPAN SCIENCE AND
TECHNOLOGY AGENCY) [JP/JP]; 〒332-0012 埼玉
県 川口市 本町 4 丁目 1 番 8 号 Saitama (JP).
(74) 代理人: 西澤 利夫 (NISHIZAWA, Toshio); 〒107-0062
東京都港区南青山6丁目11番1号スリーエフ南青
山ビルディング7F Tokyo (JP).
(81) 指定国 (国内): US.

/続葉有/

(54) Title: 3-D HOLOGRAPHIC RECORDING METHOD AND 3-D HOLOGRAPHIC RECORDING SYSTEM

(54) 発明の名称: 三次元ホログラフィック記録方法および三次元ホログラフィック記録装置



(57) Abstract: A method of 3-D holographic recording on a photosensitive material capable of a multi-photon exposure by using a very simple optical system and by means of a femto-second laser pulse, wherein a femto-second laser pulse is divided into a plurality of light fluxes by a diffraction beam splitter (3), four light fluxes out of divided laser are condensed and applied to a sample (7) consisting of a photosensitive material capable of a multi-photon exposure, four light fluxes are interference-exposed to induce the multi-photon absorption of the sample (7), and a Bragg diffraction lattice is recorded on the irradiated portion of the sample (7).

(57) 要約: フェムト秒レーザパルス回折ビームスプリッタ(3)で複数本の光束に分割させ、分割したレーザのうちの4光束を集光させて多光子露光が可能な感光性材料から

/続葉有/



(84) 指定国 (広域): ヨーロッパ特許 (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IT, LU, MC, NL, PT, RO, SE, SI, SK, TR).

2文字コード及び他の略語については、定期発行される各PCTガゼットの巻頭に掲載されている「コードと略語のガイダンスノート」を参照。

添付公開書類:

— 国際調査報告書

なる試料(7)に照射し、4光束を干渉露光して試料(7)の多光子吸収を誘起し、試料(7)の照射部位にブラッグ回折格子を記録させ、極めて単純な光学系を用いた、フェムト秒レーザーパルスによる多光子露光が可能な感光性材料への三次元ホログラフィック記録方法とする。

明 細 書

三次元ホログラフィック記録方法および
三次元ホログラフィック記録装置

技術分野

この出願の発明は、フェムト秒レーザパルスによる、光熱屈折率変化を生ずるガラスをはじめとする多光子露光が可能な感光性材料への三次元ホログラフィック記録方法に関するものである。さらに詳しくは、この出願の発明は、極めて単純な光学系を用いた、フェムト秒レーザパルスによって多光子露光が可能な感光性材料にブラッグ回折格子を記録する三次元ホログラフィック記録方法に関するものである。

背景技術

フォトニックスの発展は将来の科学技術を向上させるものとして期待されており、とくにフォトニック結晶 (PhC) は将来の有望な利用が期待できるため強い関心が寄せられている。しかしながら、可視光または近赤外線領域で作用するフォトニック結晶の製造はマイクロ/ナノ技術の近年の発展を利用しても依然追求中のテーマとなっている。

現在、フォトニック結晶製造の代替技術としては、レーザ干渉が、一次元 (1D) / 二次元 (2D) / 三次元 (3D) 構造を容易に形成でき且つ実現性が高いため注目されている。たとえば2つのビームの干渉により一次元 (1D) 周期パターンの回折格子を形成することができ、また Formation of a microfiber bundle by interference of three non coplanar beams (文献1) に示されているように、3つのビームの干渉により二次元 (2D) 周期パターンの回折格子を形成することができる。

そして三次元 (3D) 周期パターンに関しては、一般に4つの非共面ビームを使用して記録することができ (All fourteen Bravais lattices

can be formed by interference of four noncoplanar beams (文献 2)), その場合、4つの干渉ビームの方向、それらのビームの偏光の制御により、すべての Bravais 光格子に対応する光強度分布を発生させることができると考えられている。しかしながら現実にはそのような装置の実験の実現化は非常に困難になっている。

フォトリソグラフィ結晶格子の選択を自由化するために複雑になっている装置を単純化する方法として挙げられるのは、軸対称のマルチビーム干渉装置を使用することであり、また多くの複雑な 1D/2D/3D 構造に関しては、ビームの数、位相および交差角を制御することによって実現することができる。上記のようなレーザ干渉を用いた場合に形成される 1D/2D/3D 構造の利点の 1 つは、すべての干渉ビームの時間的および空間的重複部分を固有に表現化することが可能なことにある。

とくに極端に短いサブ・ピコ秒パルスを用いて 3D 構造を達成させることは、非常に困難ではあるが、透明媒質内部に 3D 記録を行うための非線形吸収 (マルチ・ステップ、マルチ・フォトンまたはトンネル) を促進するのに必要とされている。もしこのような光強度の周期パターンが材料内部に記録されれば、良質なフォトリソグラフィ結晶またはそれらのテンプレートを製造することが容易になるのである。

近年、ガラス中における 3D 記録を達成する方法がいくつか報告されているが、それらの方法では通常フェムト秒パルスが用いられている。しかしながらそれらの記録方法は照射ごとの走査という比較的遅いプロセスにより達成されていた。また従来のフェムト秒パルスを用いて 3D 構造を記録する方法はフェムト秒パルスのパルス幅が短いため 3 本以上のパルス光束を 1 点で干渉露光するには非常に複雑な光学系が必要となり実用性の欠いたものになってしまっていた。

文献 1 : L. Z. Cai et al., Optics Letters, Vol. 26, No. 23,
pp. 1858-1860 (2001)

文献 2 : L. Z. Cai et al., Optics Letters, Vol. 27, No. 11,
pp. 900-902 (2002)

そこでこの出願の発明は、以上のとおりの事情に鑑みてなされたものであり、従来技術の問題点を解消し、極めて単純な光学系により多光子露光が可能な感光性材料中に容易に 3D 周期パターンを形成することが可能な三次元ホログラフィック記録方法および三次元ホログラフィック記録装置を提供することを課題としている。

発明の開示

この出願の発明は、上記の課題を解決するものとして、まず第 1 には、フェムト秒レーザパルスを複数本の光束に分割し、分割した複数本の光束を平行方向に集光した後に 4 光束を選択し、それら 4 光束をさらに集光させて多光子露光が可能な感光性材料に照射し 4 光束を干渉露光して感光性材料の多光子吸収を誘起し、感光性材料の照射部位に三次元の位相ホログラムを記録することを特徴とする三次元ホログラフィック記録方法を提供する。

第 2 には、この出願の発明は、第 1 の発明において、感光性材料の照射部位に記録された位相ホログラムがブラッグ回折格子であることを特徴とする三次元ホログラフィック記録方法を提供する。

さらに、第 3 には、第 2 の発明において、形成されたブラッグ回折格子が、フォトリソグラフィック結晶として利用されることを特徴とする三次元ホログラフィック記録方法を提供する。

第 4 には、第 1 ないし 3 のいずれかの発明において、多光子露光が可能な感光性材料が、光熱屈折率変化を生じるガラスであることを特徴とする請求項 1 ないし 3 のいずれかに記載の三次元ホログラフィック記録方法を提供する。

また、第 5 には、第 4 に記載の光熱屈折率変化を生じるガラスが $15\text{Na}_2\text{O}-5\text{ZnO}-4\text{Al}_2\text{O}_3-70\text{SiO}_2-5\text{NaF}-0.01\text{Ag}_2\text{O}-0.01\text{CeO}_2$ の近似組成を有す

るガラスであることを特徴とする三次元ホログラフィック記録方法を提供する。

第6には、第1ないし5のいずれかの発明の三次元ホログラフィック記録方法を行う装置であって、1) フェムト秒レーザパルスが発生させるレーザ光源、2) フェムト秒レーザパルスを複数本の光束に分割する回折ビームスプリッタ、3) 分割されたフェムト秒レーザパルスを集光させる2つのレンズ、4) 分割されたフェムト秒レーザパルスのうちの4光束を選択するアパーチャを備えていることを特徴とする三次元ホログラフィック記録装置を提供する。

第7には、第6の発明の三次元ホログラフィック記録装置において、2つのレンズのうち、回折ビームスプリッタで分割した複数本の光束を平行方向に集光させるレンズが色消しレンズであり、その後アパーチャにより選択した4光束を感光性材料に集光して干渉露光させるレンズが顕微鏡の対物レンズであることを特徴とする三次元ホログラフィック記録装置をも提供する。

図面の簡単な説明

図1の(a)は、この発明の三次元ホログラフィック記録装置を例示した概念図である。また、(b)は、同図(a)の試料への4光束の照射の様子を例示した概念図である。さらに(c)は、同図(a)の装置を用いてレジストに記録されると予測されるパターンである。

図2は、この発明の三次元ホログラフィック記録方法を用いてレジスト内に記録されたブラッグ回折格子のSEM画像を例示した写真である。

図3の(a)は、この発明の三次元ホログラフィック記録方法により形成されたブラッグ回折格子の読出し実験を示す概念図である。また、(b)、(c)、(d)は、この発明の三次元ホログラフィック記録方法により形成されたブラッグ回折格子の読み出し実験の結果の一例を示す

写真である。

図4は、この発明の三次元ホログラフィック記録方法により形成されたブラッグ回折格子の回折効率の理論値と実験値のグラフである。

なお、図中の符号は次のものを示す。

- 1 三次元ホログラフィック記録装置
- 2 レーザ光源
- 3 回折ビームスプリッタ
- 4 色消しレンズ
- 5 対物レンズ
- 6 アパーチャ
- 7 試料

発明を実施するための最良の形態

この出願の発明の三次元ホログラフィック記録方法は、フェムト秒レーザーパルスを回折ビームスプリッタ等で複数本の光束に分割し、分割した複数本の光束を平行方向に集光した後に4光束を選択し、それら4光束を集光させて多光子露光が可能な感光性材料に照射し4光束を干渉露光して感光性材料の多光子吸収を誘起し、感光性材料の照射部位に三次元の位相ホログラム、とくにブラッグ回折格子を形成させることを特徴としている。

この方法を用いることにより、極めて単純な光学系を用いて良質なブラッグ回折格子を、光熱屈折率変化を生じるガラスをはじめとする多光子露光が可能な感光性材料中に記録することができその結果良質なフォトニック結晶を容易に製造することが可能となる。なお、この出願の発明における“光熱屈折率変化を生じるガラス”とは、“紫外光照射を行った後に熱処理することにより屈折率変化が現れるガラス”を意味している。

とくにこの出願の発明の三次元ホログラフィック記録方法においては、光熱屈折率変化を生じるガラス(PTR(photo-thermo-refractive))

ガラス)として $15\text{Na}_2\text{O}-5\text{ZnO}-4\text{Al}_2\text{O}_3-70\text{SiO}_2-5\text{NaF}-0.01\text{Ag}_2\text{O}-0.01\text{CeO}_2$ の近似組成を持つガラスを好適に用いることができ、このようなPTRガラスを用いることでとくに良質なブラッグ回折格子を記録することができる。

また、この出願の発明の三次元ホログラフィック記録方法を行う装置として、フェムト秒レーザパルスを発生させるレーザ光源、フェムト秒レーザパルスを複数本の光束に分割する回折ビームスプリッタ、分割された複数本のフェムト秒レーザパルスを集光させる2つのレンズ、さらにそれら2つのレンズの間に分割されたフェムト秒レーザパルスのうちの4光束を選択するアパーチャを備えた三次元ホログラフィック記録装置を用いることができる。

なお、上記の2つのレンズのうち、回折ビームスプリッタで分割されたフェムト秒レーザパルスを平行方向に集光させるレンズとして色消しレンズを好適に使用することができ、また感光性材料に4光束を集光させて露光干渉させるためのレンズとして顕微鏡の対物レンズを好適に使用することができる。これらの光学機器を備えた三次元ホログラフィック記録装置を用いることで、極めて単純な光学系で三次元位相ホログラムであるブラッグ回折格子を感光性材料中に形成することができるのである。

以下、添付した図面に沿って実施例を示し、この出願の発明の実施の形態についてさらに詳しく説明する。もちろん、この発明は以下の例に限定されるものではなく、細部については様々な態様が可能であることは言うまでもない。

実 施 例

この出願の発明の三次元ホログラフィック記録方法を用いて、多光子露光が可能な感光材料であるPTRガラス試料へのブラッグ回折格子の記録を試みた。

図1(a)に示しているように、マルチビーム干渉パターンの記録に使用される三次元ホログラフィック記録装置(1)として、まずレーザ光源(2)から発生したフェムト秒レーザパルスのレーザビームを複数光束に分割する回折ビームスプリッタ(DBS (diffractive beam splitter))(3)を設置し、その回折ビームスプリッタ(3)通過後のレーザビームの光路上に焦点距離が175mmの色消しレンズ(4)と顕微鏡の対物レンズ(5)を設置し、色消しレンズ(4)と対物レンズ(5)の間に4光束を選択するためのアパーチャ(6)を設置した。

これらの光学機器を用い、まずレーザ光源(2)で発生したフェムト秒レーザパルスビームを回折ビームスプリッタ(3)により複数光束に分割し、回折ビームスプリッタ(3)の後方に配置された色消しレンズ(4)でそれら複数光束を平行方向に集光し、さらにその後方に設置されたアパーチャ(6)により3D干渉パターンを得るための4光束の選択を行った後、顕微鏡の対物レンズ(5)で4光束レーザビームを集光し、感光性材料からなる試料(7)上にそれらレーザビームを集光させ、試料(7)中で4光束を干渉露光させた。

なお、分割された複数光束のフェムト秒レーザパルスビームの光学的距離は光学パルス長さの精度で同一であるため、分割されたレーザパルスの時間的な重なりは人工的な調整を施すことなく達成される。また各レーザパルスビームは露光領域での放射照度を増すためわずかに絞られている。

そして4光束のレーザパルスビームにより、試料(7)中で4回対称(正方形)干渉パターンを形成した。なお図1(b)に示す中心軸と各々の光束の間の角度 $\theta_{a,1r}$ は33.6°であった。

なお、この例の試料の露光には再生増幅器付のTi:サファイア発振器(Tsunami & Spitfire, Spectra Physics)で得られるフェムト秒レーザパルスを使用した。このレーザパルスの繰返し周波数は1kHzでありパルス幅は150fsであって波長が800nmであった。また、フ

エムト秒レーザパルスの回折ビームスプリッタ (D B S) (2) の手前でのレーザパワーは 2 1 0 mW であったが、試料 (7) の位置では 3 分の露光時間で 1 . 7 mW であった。

この実施例では 3 種類の試料として、テスト用のネガティブ・フォトリソスト S U - 8 薄膜 (Microlithography Chemical Corp.) と、光熱屈折率変化を生じる P T R (photo-thermo-refractive) ガラスを用い、また参照試料として珪酸ナトリウム・ガラスを使用した。

$\lambda < 400 \text{ nm}$ で吸収する試料 S U - 8 薄膜はカバーガラス板上に約 5 ~ 6 μm の厚さでスピニングされ、その試料に対し露光前に事前焼付けを行い、レーザパルスビームを照射後、試料を事後焼付けして光励起架橋反応を強化し、引き続いて現像を行うことにより非架橋領域を取り除き 3 D 構造を得た。その 3 D 構造をスパッタリングによりレジストの構造上を A u 薄膜でコーティングし、走査電子顕微鏡 (SEM; Hitachi S-4200SE) で観察した。

上記のような条件により、まず 4 つのビームの干渉によりレジストフィルム中に 3 D ロッド構造である 2 D フォトニック結晶を記録したが、その際に予測されるフォトニック結晶の構造を以下の式で与えられる 4 つのビームで形成される光強度パターンから計算した。

$$I(\vec{r}) = \left\langle \left| \sum_{i=1}^4 E_i \cos(\vec{k}_i \cdot \vec{r} - \omega t + \varphi_i) \right|^2 \right\rangle$$

ここで、 E_i は光照射視野振幅、 k_i 、 φ_i は波数ベクトルおよび対応するビームの位相である。また ω は繰返し周波数、 r は座標ベクトル、 t は時間である。この計算によりレジスト内に記録されたパターンは、図 1 (c) に示すものと同様であると予測した (なお、この計算では $\varphi_i = 0$ とし、電場振幅は 1 とした)。この判断は記録された 3 D 構造の形態が $\varphi_i = 0$ の場合に式 (1) で与えられる光強度分布に忠実に従うことを示す前段階の実験を基本にした。レジスト内に記録および現像され

た構造は、図2(a)(b)のSEM画像に示されるように、予測された構造に極めて近い構造となった。作製された構造の周期は $1\mu\text{m}$ であり、この値は予測値の $\lambda/(\sqrt{2}\sin\theta_{\text{airy}})=1.02\mu\text{m}$ に十分近いものである。図2(b)に示しているように構造を拡大すると、光伝播の方向(画像の垂直方向)に沿ってリップルが識別される。これらのリップルは前方伝播方向を持つレジストと空気の境界からの後方反射光の干渉により発生する。 150fs のレーザパルス継続時間に対し、対応するコヒーレンス長は約 $45\mu\text{m}$ であり、厚さ $5\mu\text{m}$ のフィルムの厚み全体にリップルが現れた。

レジスト内に3D構造をホログラフィック記録することが可能であることを確かめた後、レジストと同一形状のPTRガラス試料および参照用の珪酸ナトリウム・ガラスの露光を行った。

PTRガラスとしては(mol%) $15\text{Na}_2\text{O}-5\text{ZnO}-4\text{Al}_2\text{O}_3-70\text{SiO}_2-5\text{NaF}-0.01\text{Ag}_2\text{O}-0.01\text{CeO}_2$ の近似組成を有するガラスを用い、そのPTRガラスと珪酸ナトリウム・ガラス $22\text{Na}_2\text{O}-3\text{CaO}-75\text{SiO}_2$ とを、実験室で用いている手法により高純度材料から合成し、吸収性の不純物の濃度は1ppm程度以下に保持した。珪酸ナトリウム・ガラスはPTRガラスに対する純粋マトリクス材料、すなわち参照として使用し、これらガラスを、電気炉中で石英るつぼ内で熔融し、できた試料を $10\times5\times2\text{mm}^3$ に切断し4面を研磨した。なおレーザビームの照射時間は5~10分であった。

PTRガラスの露光および熱処理後、読み出しのための記録された構造の側面照射を容易にするため試料を図3(a)に示しているように切断し、PTRガラス内に焦点を当てながら、Z軸沿いに2光束露光を行い、ホログラムを記録した。このホログラムは集束した 543.5nm のHe-Neレーザを照射して実行することで読み出された。

その結果、図3(b)~(d)に示しているような厚い回折格子の回折から予測されたような明確なブラッグ回折パターンが観測された。図

3 (b) は挿入図に示しているように θ の入射角にて 4 光束により記録されたホログラムからのブラッグ回折を示したものであり、(c) は同一ホログラムを直角入射で読み出した場合であり、(d) は $-\theta$ の入射角で読み出した場合である。これらの図中透過した光束と回折した光束はそれぞれ T と $\pm 1 D$ と印がついている。

なお図 4 はブラッグ角からのずれに対する規格化した回折格子の回折効率の理論値と実験値のグラフであり、理論値と実験値が最も良く一致しているときの屈折率変化は 5.7×10^{-4} であった。また回折格子周期は、ブラッグ回折の ± 1 オーダーの角度の測定とブラッグ条件 $\lambda = 2 \Lambda \sin(\theta)$ を適用して求め、 $\Lambda = 1.15 \mu\text{m}$ であり、回折格子の厚さ L は、図 4 に示される曲線を計算し、値 $L = 66 \mu\text{m}$ と求めることができた。

上記の結果より、フェムト秒レーザパルス照射により純粋な位相構造であるブラッグ回折格子が PTR ガラス内に記録されたと言える。

なお、上記のような 3D 構造は同様のフェムト秒レーザ露光において PTR ガラスのマトリックスである純粋な珪酸塩ガラスには記録されなかった。

産業上の利用可能性

以上詳しく説明したとおり、この出願の発明によって、極めて単純な光学系を用いた、フェムト秒レーザパルスによる光熱屈折率変化を生ずるガラスをはじめとする多光子露光が可能な感光性材料への三次元ホログラフィック記録方法が提供される。

請求の範囲

1. フェムト秒レーザパルスを複数本の光束に分割し、分割した複数本の光束を平行方向に集光した後に4光束を選択し、それら4光束をさらに集光させて多光子露光が可能な感光性材料に照射し、4光束を干渉露光して感光性材料の多光子吸収を誘起し、感光性材料の照射部位に三次元の位相ホログラムを記録することを特徴とする三次元ホログラフィック記録方法。
2. 感光性材料の照射部位に記録された位相ホログラムがブラッグ回折格子であることを特徴とする請求項1に記載の三次元ホログラフィック記録方法。
3. 形成されたブラッグ回折格子が、フォトニック結晶として利用されることを特徴とする請求項2に記載の三次元ホログラフィック記録方法。
4. 多光子露光が可能な感光性材料が、光熱屈折率変化を生じるガラスであることを特徴とする請求項1ないし3のいずれかに記載の三次元ホログラフィック記録方法。
5. 光熱屈折率変化を生じるガラスが $15\text{Na}_2\text{O}-5\text{ZnO}-4\text{Al}_2\text{O}_3-70\text{SiO}_2-5\text{NaF}-0.01\text{Ag}_2\text{O}-0.01\text{CeO}_2$ の近似組成を有するガラスであることを特徴とする請求項4に記載の三次元ホログラフィック記録方法。
6. 請求項1ないし5のいずれかの三次元ホログラフィック記録方法を行う装置であって、
 - 1) フェムト秒レーザパルスが発生させるレーザ光源、
 - 2) フェムト秒レーザパルスを複数本の光束に分割する回折ビームスプリッタ、
 - 3) 分割されたフェムト秒レーザパルスを集光させる2つのレンズ、
 - 4) 分割されたフェムト秒レーザパルスのうちの4光束を選択するアパーチャ、

を備えていることを特徴とする三次元ホログラフィック記録装置。

7. 請求項6に記載の三次元ホログラフィック記録装置において、2つのレンズのうち、回折ビームスプリッタで分割した複数本の光束を平行方向に集光させるレンズが色消しレンズであり、その後アパーチャにより選択した4光束を感光性材料に集光して干渉露光させるレンズが顕微鏡の対物レンズであることを特徴とする三次元ホログラフィック記録装置。

☒ 1

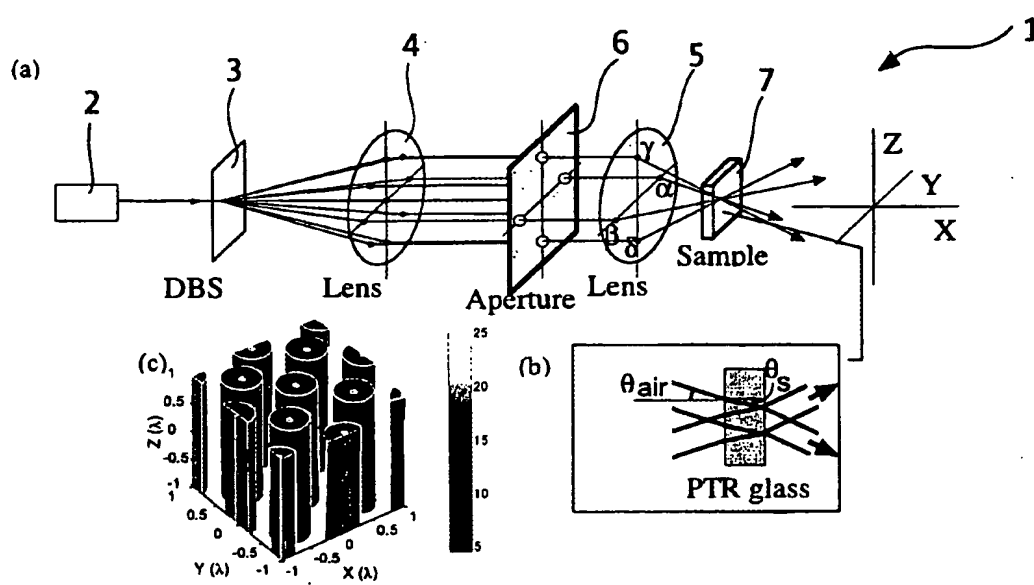


図 2

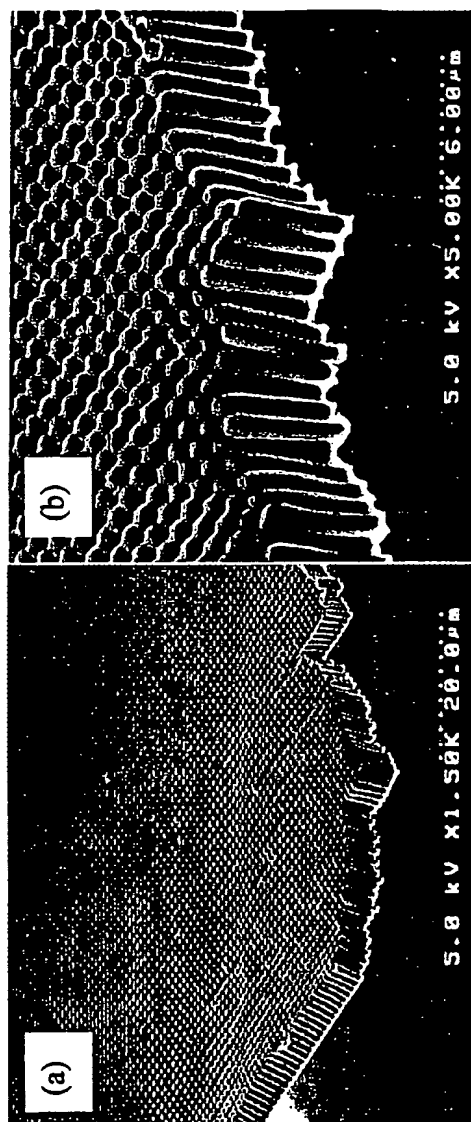


図 3

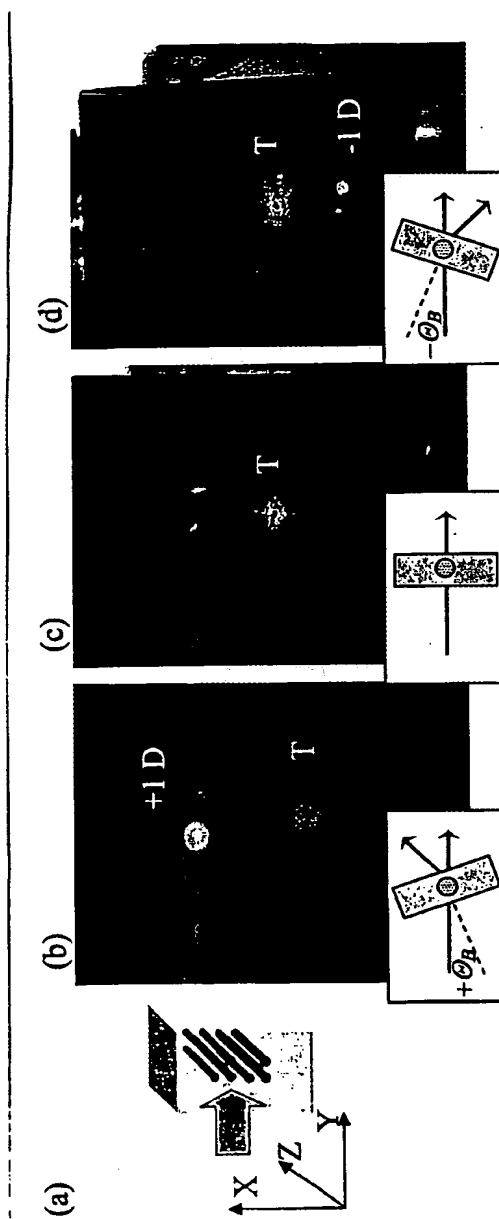
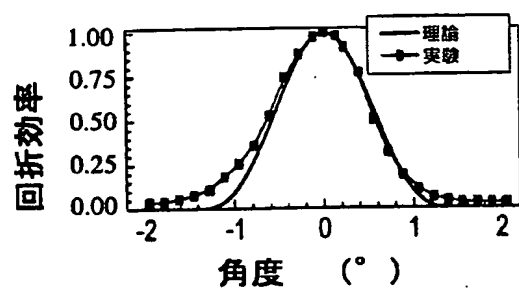


图 4



特 許 協 力 条 約

PCT

REC'D 13 JAN 2005	
WIPO	PCT

特許性に関する国際予備報告 (特許協力条約第二章)

(法第12条、法施行規則第56条)
(PCT36条及びPCT規則70)

出願人又は代理人 の書類記号 03-F-070PCT	今後の手続きについては、様式PCT/IPEA/416を参照すること。	
国際出願番号 PCT/JPO3/12344	国際出願日 (日.月.年) 26.09.2003	優先日 (日.月.年) 03.10.2002
国際特許分類 (IPC) Int. Cl ⁷ G03H1/04, G02B1/02		
出願人 (氏名又は名称) 独立行政法人科学技術振興機構		

- この報告書は、PCT35条に基づきこの国際予備審査機関で作成された国際予備審査報告である。
法施行規則第57条 (PCT36条) の規定に従い送付する。
- この国際予備審査報告は、この表紙を含めて全部で 3 ページからなる。
- この報告には次の附属物件も添付されている。
 - ☒ 附属書類は全部で 4 ページである。
 - ☒ 補正されて、この報告の基礎とされた及び/又はこの国際予備審査機関が認めた訂正を含む明細書、請求の範囲及び/又は図面の用紙 (PCT規則70.16及び実施細則第607号参照)
 - ☐ 第I欄4. 及び補充欄に示したように、出願時における国際出願の開示の範囲を超えた補正を含むものとの国際予備審査機関が認定した差替え用紙
 - ☐ 電子媒体は全部で _____ (電子媒体の種類、数を示す)。
配列表に関する補充欄に示すように、コンピュータ読み取り可能な形式による配列表又は配列表に関連するテーブルを含む。 (実施細則第802号参照)

4. この国際予備審査報告は、次の内容を含む。

- ☒ 第I欄 国際予備審査報告の基礎
- ☐ 第II欄 優先権
- ☐ 第III欄 新規性、進歩性又は産業上の利用可能性についての国際予備審査報告の不作成
- ☐ 第IV欄 発明の単一性の欠如
- ☒ 第V欄 PCT35条(2)に規定する新規性、進歩性又は産業上の利用可能性についての見解、それを裏付けるための文献及び説明
- ☐ 第VI欄 ある種の引用文献
- ☐ 第VII欄 国際出願の不備
- ☐ 第VIII欄 国際出願に対する意見

国際予備審査の請求書を受理した日 05.04.2004	国際予備審査報告を作成した日 15.12.2004	
名称及びあて先 日本国特許庁 (IPEA/J.P) 郵便番号100-8915 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号	特許庁審査官 (権限のある職員) 山村 浩	2V 9219
電話番号 03-3581-1101 内線 3271		

様式PCT/IPEA/409 (表紙) (2004年1月)

第I欄 報告の基礎

1. この国際予備審査報告は、下記に示す場合を除くほか、国際出願の言語を基礎とした。

- ☐ この報告は、 語による翻訳文を基礎とした。
それは、次の目的で提出された翻訳文の言語である。
- ☐ PCT規則12.3及び23.1(b)にいう国際調査
- ☐ PCT規則12.4にいう国際公開
- ☐ PCT規則55.2又は55.3にいう国際予備審査

2. この報告は下記の出願書類を基礎とした。(法第6条(PCT14条)の規定に基づく命令に回答するために提出された差替え用紙は、この報告において「出願時」とし、この報告に添付していない。)

- ☐ 出願時の国際出願書類
- ☒ 明細書
第 1, 2, 4, 6-8, 10 ページ、出願時に提出されたもの
第 3, 5, 9 ページ*, 12. 11. 2004 付けで国際予備審査機関が受理したもの
第 ページ*, 付けで国際予備審査機関が受理したもの
- ☒ 請求の範囲
第 3-7 項、出願時に提出されたもの
第 項*, PCT19条の規定に基づき補正されたもの
第 1, 2 項*, 12. 11. 2004 付けで国際予備審査機関が受理したもの
第 項*, 付けで国際予備審査機関が受理したもの
- ☒ 図面
第 1-4 ~~ページ/図~~、出願時に提出されたもの
第 ページ/図*, 付けで国際予備審査機関が受理したもの
第 ページ/図*, 付けで国際予備審査機関が受理したもの
- ☐ 配列表又は関連するテーブル
配列表に関する補充欄を参照すること。

3. ☐ 補正により、下記の書類が削除された。

- ☐ 明細書 第 ページ
- ☐ 請求の範囲 第 項
- ☐ 図面 第 ページ/図
- ☐ 配列表 (具体的に記載すること)
- ☐ 配列表に関連するテーブル (具体的に記載すること)

4. ☐ この報告は、補充欄に示したように、この報告に添付されかつ以下に示した補正が出願時における開示の範囲を超えてされたものと認められるので、その補正がされなかったものとして作成した。(PCT規則70.2(c))

- ☐ 明細書 第 ページ
- ☐ 請求の範囲 第 項
- ☐ 図面 第 ページ/図
- ☐ 配列表 (具体的に記載すること)
- ☐ 配列表に関連するテーブル (具体的に記載すること)

* 4. に該当する場合、その用紙に“superseded”と記入されることがある。

第V欄 新規性、進歩性又は産業上の利用可能性についての法第12条(PCT35条(2))に定める見解、それを裏付ける文献及び説明

1. 見解

新規性(N)	請求の範囲	1-7	有
	請求の範囲		無
進歩性(IS)	請求の範囲		有
	請求の範囲	1-7	無
産業上の利用可能性(IA)	請求の範囲	1-7	有
	請求の範囲		無

2. 文献及び説明(PCT規則70.7)

文献1: Kondo et. al., Femtosecond laser interference technique with diffraction beam splitter for fabrication of three-dimensional photonic crystals, Appl. Phys. Lett., August 2001, Vol. 79, No. 6, pp725-727

文献2: 松尾, フォトニック結晶の作成技術, 光技術コンタクト, 2002. 08. 20, 第40巻, 第8号, p. 480-489

文献3: JP 11-71139 A (科学技術振興事業団), 1999. 03. 16

請求の範囲1~3, 6, 7に係る発明は、国際調査報告で引用された文献1及び2により進歩性を有さない。文献1においては、4つのビームを選択して二次元構造を作製するとされているが、文献2の第486頁の4. 2欄に、「二次元・三次元のフォトニック結晶を作製するためには少なくとも三光束・四光束を干渉させる必要がある」旨記載されており、この記載からみて、文献1においても、4つのビームにより三次元構造を作製することは当業者にとって容易である。また、請求の範囲に係る発明において、多光子吸収を誘起している点については、文献2の同頁同欄には、「レーザー光を集光照射することによる顕微加工では、空間分解能の改善に超短パルス(フェムト秒パルス)によって誘起される多光子吸収過程が重要な役割を果たしている。・・・レーザー光の干渉を利用してフォトニック結晶を作成する場合には、多光子吸収を利用しても周期は短くならないものの、各格子点にできる単位構造の大きさや形状の制御においてメリットがある。しかし、二次元・三次元のフォトニック結晶を作成するためには少なくとも三光束・四光束を干渉させる必要があり、フェムト秒パルスでこのような干渉を得ることは技術的に難しい。前述したようにわれわれは、回折光学素子を用いた光学系によりフェムト秒パルスの多光束干渉を実現し・・・三次元の周期性を持つフォトニック結晶を作製した」と記載されている。なお、最終文にある光学系は文献1記載のものに該当するものである。そして、この記載からみて、文献1記載の光学系は多光子吸収を誘起させることができることが示唆されていると言えるので、この点は格別の相違点とはいえない。さらに、請求の範囲に係る発明において、感光材料の内部に位相ホログラムを記録する点については、フェムト秒パルスの多光子吸収によるレーザー加工において内部に直接加工ができることは周知の技術的事項であるから、この点は単に位相ホログラムの記録場所を特定したものにとすぎず、格別とはいえない。

請求の範囲4, 5に係る発明は、国際調査報告で引用された文献1, 2と新たに引用した文献3により進歩性を有さない。当該文献3には、当該各請求の範囲に記載された材料とほぼ同様のものが開示されている。

文献2: L. Z. Cai et al., Optics Letters, Vol. 27, No. 11,
 pp. 900-902 (2002)

そこでこの出願の発明は、以上のとおりの事情に鑑みてなされたものであり、従来技術の問題点を解消し、極めて単純な光学系により多光子露光が可能な感光性材料中に容易に3D周期パターンを形成することが可能な三次元ホログラフィック記録方法および三次元ホログラフィック記録装置を提供することを課題としている。

発明の開示

この出願の発明は、上記の課題を解決するものとして、まず第1には、フェムト秒レーザパルスを複数本の光束に分割し、分割した複数本の光束を平行方向に集光した後に4光束を選択し、それら4光束をさらに集光させて多光子露光が可能な感光性材料に照射し4光束を干渉露光して感光性材料の多光子吸収を誘起し、感光性材料内部の照射部位に三次元の位相ホログラムを記録することを特徴とする三次元ホログラフィック記録方法を提供する。

第2には、この出願の発明は、第1の発明において、感光性材料内部の照射部位に記録された位相ホログラムがブラッグ回折格子であることを特徴とする三次元ホログラフィック記録方法を提供する。

さらに、第3には、第2の発明において、形成されたブラッグ回折格子が、フォトリソグラフィ結晶として利用されることを特徴とする三次元ホログラフィック記録方法を提供する。

第4には、第1ないし3のいずれかの発明において、多光子露光が可能な感光性材料が、光熱屈折率変化を生じるガラスであることを特徴とする請求項1ないし3のいずれかに記載の三次元ホログラフィック記録方法を提供する。

また、第5には、第4に記載の光熱屈折率変化を生じるガラスが $15\text{Na}_2\text{O}-5\text{ZnO}-4\text{Al}_2\text{O}_3-70\text{SiO}_2-5\text{NaF}-1.01\text{Ag}_2\text{O}-0.01\text{CeO}_2$ の近似組成を有す

図4は、この発明の三次元ホログラフィック記録方法により形成されたブラッグ回折格子の回折効率、理論値と実験値のグラフである。

なお、図中の符号は次のものを示す。

- 1 三次元ホログラフィック記録装置
- 2 レーザ光源
- 3 回折ビームスプリッタ
- 4 色消しレンズ
- 5 対物レンズ
- 6 アパーチャ
- 7 試料

発明を実施するための最良の形態

この出願の発明の三次元ホログラフィック記録方法は、フェムト秒レーザーパルス回折ビームスプリッタ等で複数本の光束に分割し、分割した複数本の光束を平行方向に集光した後に4光束を選択し、それら4光束を集光させて多光子露光が可能な感光性材料に照射し4光束を干渉露光して感光性材料の多光子吸収を誘起し、感光性材料内部の照射部位に三次元の位相ホログラム、とくにブラッグ回折格子を形成させることを特徴としている。

この方法を用いることにより、極めて単純な光学系を用いて良質なブラッグ回折格子を、光熱屈折率変化を生じるガラスをはじめとする多光子露光が可能な感光性材料中に記録することができその結果良質なフォトリソグラフィを容易に製造することが可能となる。なお、この出願の発明における“光熱屈折率変化を生じるガラス”とは、“紫外光照射を行った後に熱処理することにより屈折率変化が現れるガラス”を意味している。

とくにこの出願の発明の三次元ホログラフィック記録方法においては、光熱屈折率変化を生じるガラス(PTR(photo-thermo-refractive))

た構造は、図2(a)(b)のSEM画像に示されるように、予測された構造に極めて近い構造となった。作製された構造の周期は $1\mu\text{m}$ であり、この値は予測値の $\lambda/(\sqrt{2}\sin\theta_{\text{airy}})=1.02\mu\text{m}$ に十分近いものである。図2(b)に示しているように構造を拡大すると、光伝播の方向(画像の垂直方向)に沿ってリップルが識別される。これらのリップルは前方伝播方向を持つレジストと空気の境界からの後方反射光の干渉により発生する。 150fs のレーザパルス継続時間に対し、対応するコヒーレンス長は約 $45\mu\text{m}$ であり、厚さ $5\mu\text{m}$ のフィルムの厚み全体にリップルが現れた。

レジスト内に3D構造をホログラフィック記録することが可能であることを確かめた後、レジストと同一形状のPTRガラス試料および参照用の珪酸ナトリウム・ガラスの露光を行った。

PTRガラスとしては(mol%) $15\text{Na}_2\text{O}-5\text{ZnO}-4\text{Al}_2\text{O}_3-70\text{SiO}_2-5\text{NaF}-0.01\text{Ag}_2\text{O}-0.01\text{CeO}_2$ の類似組成を有するガラスを用い、そのPTRガラスと珪酸ナトリウム・ガラス $22\text{Na}_2\text{O}-3\text{CaO}-75\text{SiO}_2$ とを、実験室で用いている手法により高純度材料から合成し、吸収性の不純物の濃度は 1ppm 程度以下に保持した。珪酸ナトリウム・ガラスはPTRガラスに対する純粋マトリクス材料、すなわち参照として使用し、これらガラスを、電気炉中で石英るつぼ内で熔融し、できた試料を $10\times5\times2\text{mm}^3$ に切断し4面を研磨した。なおレーザビームの照射時間は5~10分であった。

PTRガラスの露光および熱処理後、読み出しのための記録された構造の側面照射を容易にするため試料を図3(a)に示しているように切断し、PTRガラス内に焦点を当てながら、Z軸沿いに4光束露光を行い、ホログラムを記録した。このホログラムは集束した 543.5nm のHe-Neレーザを照射して実行することで読み出された。

その結果、図3(b)~(d)に示しているような厚い回折格子の回折から予測されたような明確なブラッグ回折パターンが観測された。図

請求の範囲

1. (補正後) フェムト秒レーザーパルスを複数本の光束に分割し、分割した複数本の光束を平行方向に露光した後に4光束を選択し、それら4光束をさらに集光させて多光子露光が可能な感光性材料に照射し、4光束を干渉露光して感光性材料が多光子吸収を誘起し、感光性材料内部の照射部位に三次元の位相ホログラムを記録することを特徴とする三次元ホログラフィック記録方法。
2. (補正後) 感光性材料中の照射部位に記録された位相ホログラムがブラッグ回折格子であることを特徴とする請求項1に記載の三次元ホログラフィック記録方法。
3. 形成されたブラッグ回折格子が、フォトニック結晶として利用されることを特徴とする請求項2に記載の三次元ホログラフィック記録方法。
4. 多光子露光が可能な感光性材料が、光熱屈折率変化を生じるガラスであることを特徴とする請求項1ないし3のいずれかに記載の三次元ホログラフィック記録方法。
5. 光熱屈折率変化を生じるガラスが $15\text{Na}_2\text{O}-5\text{ZnO}-4\text{Al}_2\text{O}_3-70\text{SiO}_2-5\text{NaF}-0.01\text{Ag}_2\text{O}-0.01\text{CeO}_2$ の組成を有するガラスであることを特徴とする請求項4に記載の三次元ホログラフィック記録方法。
6. 請求項1ないし5のいずれかに記載の三次元ホログラフィック記録方法を行う装置であって、
 - 1) フェムト秒レーザーパルスを生発生させるレーザー光源、
 - 2) フェムト秒レーザーパルスを複数本の光束に分割する回折ビームスプリッタ、
 - 3) 分割されたフェムト秒レーザーパルスを集光させる2つのレンズ、
 - 4) 分割されたフェムト秒レーザーパルスのうちの4光束を選択するアパーチャ、

特 許 協 力 条 約

PCT

REC'D 13 JAN 2005

WIPO

PCT

特許性に関する国際予備報告 (特許協力条約第二章)

(法第12条、法施行規則第56条)

(PCT第36条及びPCT規則70)

出願人又は代理人 の書類記号 03-F-070PCT	今後「続き」については、様式PCT/IPEA/416を参照すること。	
国際出願番号 PCT/JP03/12344	国際出願日 (日.月.年) 26.09.2003	優先日 (日.月.年) 03.10.2002
国際特許分類 (IPC) Int. Cl. G03H1/04, G03B1/02		
出願人 (氏名又は名称) 独立行政法人科学技術振興機構		

- この報告書は、PCT第35条に基づきこの国際予備審査機関で作成された国際予備審査報告である。
法施行規則第57条 (PCT第36条) の規定に従い送付する。
- この国際予備審査報告は、この表紙を含めて全部で 3 ページからなる。
- この報告には次の附属物件も添付されている。
a ☒ 附属書類は全部で 4 ページである。
☒ 補正されて、この報告の基礎とされた及び/又はこの国際予備審査機関が認めた訂正を含む明細書、請求の範囲及び/又は図面の用紙 (PCT第70.16及び実施細則第607号参照)
☐ 第I欄4. 及び補充欄に示した範囲、出願時における国際出願の開示の範囲を超えた補正を含むものとの国際予備審査機関が認定した差違用紙
b ☐ 電子媒体は全部で (電子媒体の種類、数を示す)。
配列表に関する補充欄に示すように、コンピュータ読み取り可能な形式による配列表又は配列表に関連するテーブルを含む。 (実施細則第802号参照)

4. この国際予備審査報告は、次の内容を含む。

- ☒ 第I欄 国際予備審査報告の要約
- ☐ 第II欄 優先権
- ☐ 第III欄 新規性、進歩性又は産業上の利用可能性についての国際予備審査報告の不作成
- ☐ 第IV欄 発明の単一性の欠如
- ☒ 第V欄 PCT第35条(2)に規定する新規性、進歩性又は産業上の利用可能性についての見解、それを裏付けるための文献及びその引用
- ☐ 第VI欄 ある種の引用文献
- ☐ 第VII欄 国際出願の不備
- ☐ 第VIII欄 国際出願に対する意見

国際予備審査の請求書を受理した日 05.04.2004	国際予備審査報告を作成した日 15.12.2004	
名称及びあて先 日本国特許庁 (IPEA/J.P) 郵便番号100-8915 東京都千代田区霞が関三丁目4番2号	特許庁審査官 (権限のある職員) 山村 浩	2V 9219
電話番号 03-3581-1101 内線 3271		

様式PCT/IPEA/409 (表紙) (2004年1月)

第I欄 報告の基礎

1. この国際予備審査報告は、下記に示す場合を要するほか、国際出願の言語を基礎とした。

- ☐ この報告は、 語による原文を基礎とした。
それは、次の目的で提出された翻訳文の である。
- ☐ PCT規則12.3及び23.1(b)にいう 査
☐ PCT規則12.4にいう国際公開
☐ PCT規則55.2又は55.3にいう 査

2. この報告は下記の出願書類を基礎とした。(第6条(PCT14条)の規定に基づく命令に回答するために提出された差替え用紙は、この報告において「出願時」としてこの報告に添付していない。)

- ☐ 出願時の国際出願書類
- ☒ 明細書
第 1, 2, 4, 6-8, 10 ページ、出願時に提出されたもの
第 3, 5, 9 ページ、12.11.2004 付で国際予備審査機関が受理したもの
第 ページ、 付で国際予備審査機関が受理したもの
- ☒ 請求の範囲
第 3-7 項、出願時に提出されたもの
第 項、PCT19条の規定に基づき補正されたもの
第 1, 2 項、12.11.2004 付で国際予備審査機関が受理したもの
第 項、 付で国際予備審査機関が受理したもの
- ☒ 図面
第 1-4 ページ、出願時に提出されたもの
第 ページ、 付で国際予備審査機関が受理したもの
第 ページ、 付で国際予備審査機関が受理したもの
- ☐ 配列表又は関連するテーブル
配列表に関する補充欄を参照すること

3. ☐ 補正により、下記の書類が削除された。

- ☐ 明細書 第 ページ
☐ 請求の範囲 第 項
☐ 図面 第 ページ/図
☐ 配列表 (具体的に記載すること)
☐ 配列表に関連するテーブル (具体的に記載すること)

4. ☐ この報告は、補充欄に示したように、この報告に添付されかつ以下に示した補正が出願時における開示の範囲を超えてされたものと認められるので、 がされなかったものとして作成した。(PCT規則70.2(c))

- ☐ 明細書 第 ページ
☐ 請求の範囲 第 項
☐ 図面 第 ページ/図
☐ 配列表 (具体的に記載すること)
☐ 配列表に関連するテーブル (具体的に記載すること)

* 4. に該当する場合、その用紙に "supersedes" と記入されることがある。

第V欄 新規性、進歩性又は産業上の利用可能性を裏付ける文献及び説明

いづれの法第12条(PCT35条(2))に定める見解、

1. 見解

新規性・(N)

請求の範
請求の範

有無

進歩性 (I S)

請求の筋、
請求のこ

有無

産業上の利用可能性 (I A)

請求の金
請求の金

有無

2. 文献及び説明 (PCT規則70.7)

文献1: Kondo et.al., Femto- and laser interference technique with diffractive beam splitter for fabrication of three-dimensional photonic crystals, Appl. Phys. Lett., August 2002, Vol. 79, No. 6, pp725-727.
文献2: 松尾, フォトニック結晶の作成技術, 光技術コンタクト, 2002. 08. 20, 第40巻, 第8号, pp480-489.
文献3: J P 11-71113, 株式会社日立製作所 (科学技術振興事業団), 1999. 03.

[illegible]

請求の範囲 4, 5 に係る発明は、調査報告で引用された文献 1, 2 と新たに引用した文献 3 により進歩的である。当該文献 3 には、当該各請求の範囲に記載された材料とほぼ同様の材料が記載されている。

た構造は、図 2 (a) の構造に極めて近い構造であり、この値は予測値の範囲にある。図 2 (b) に示すように、(画像の垂直方向) に沿って前方伝播方向を持つリップルにより発生する。15 nm のコヒーレンス長は約 4 nm にリップルが現れた。

レジスト内に 3 D 構造であることを確かめた後、参照用の珪酸ナトリウム

P T R ガラスとして、 $15\text{Na}_2\text{O}-5\text{ZnO}-4\text{Al}_2\text{O}_3-70\text{SiO}_2-5\text{NaF}-0.01\text{Ag}_2\text{O}-0.01\text{PbO}$ を有するガラスを用い、その P T R ガラスと珪酸ナトリウムを原料として、実験室で合成した。合成物の組成は 1 p p m 程度の P T R ガラスに対する純粋な珪酸ナトリウムを、電解液中に溶解し、4 時間電解した。

P T R ガラスの表面に電解液を照射する。

図 2 (a) に示されるように、予測された構造の周期は $1 \mu\text{m}$ であり、 $\lambda_r = 1.02 \mu\text{m}$ に十分近いものである。構造を拡大すると、光伝播の方向が識別される。これらのリップルの境界からの後方反射光の干渉パルス継続時間に対し、対応する長さ $5 \mu\text{m}$ のフィルムの厚み全体

に記録することが可能である。図 2 (b) に示すように、P T R ガラス試料および参照用の珪酸ナトリウムを原料として、実験室で合成した。

$15\text{Na}_2\text{O}-5\text{ZnO}-4\text{Al}_2\text{O}_3-70\text{SiO}_2$ を有するガラスを用い、その P T R ガラスと珪酸ナトリウムを原料として、実験室で合成した。合成物の組成は 1 p p m 程度の P T R ガラスに対する純粋な珪酸ナトリウムを、電解液中に溶解し、4 時間電解した。

P T R ガラスの表面に電解液を照射する。

は 1 p p m 程度の P T R ガラスに対する純粋な珪酸ナトリウムを、電解液中に溶解し、4 時間電解した。

は 1 p p m 程度の P T R ガラスに対する純粋な珪酸ナトリウムを、電解液中に溶解し、4 時間電解した。

文献2: L. Z. Cai et al.
 pp. 900-901

そこでこの出願の発明は、
 であり、従来技術の問題点
 露光が可能な感光性材料中
 が可能な三次元ホログラフ
 ック記録装置を提供するこ

ics Letters, Vol. 27, No. 11,

の事情に鑑みてなされたもの
 極めて単純な光学系により多光子
 3D周期パターンを形成すること
 方法および三次元ホログラフィ
 している。

発明の開示

この出願の発明は、上記
 フェムト秒レーザパルス
 束を平行方向に集光した後
 光させて多光子露光が可
 て感光性材料の多光子吸
 元の位相ホログラムを記
 ック記録方法を提供する。

第2には、この出願の
 の照射部位に記録された
 とを特徴とする三次元ホ

さらに、第3には、第1
 子が、フォトニック結晶
 グラフィック記録方法を

第4には、第1ないし
 能な感光性材料が、光熱
 する請求項1ないし3の
 録方法を提供する。

また、第5には、第4
 $20-52\text{ZnO}-4\text{Al}_2\text{O}_3-70\text{SiO}_2$

決定するものとして、まず第1には、
 光束に分割し、分割した複数本の光
 選択し、それら4光束をさらに集
 材料に照射し4光束を干渉露光し
 感光性材料内部の照射部位に三次
 特徴とする三次元ホログラフィ

の発明において、感光性材料内部
 ラムがブラッグ回折格子であるこ
 ック記録方法を提供する。

において、形成されたブラッグ回折格
 ことを特徴とする三次元ホロ

の発明において、多光子露光が可
 生じるガラスであることを特徴と
 載の三次元ホログラフィック記

屈折率変化を生じるガラスが 15Na
 $20-52\text{ZnO}-4\text{Al}_2\text{O}_3-70\text{SiO}_2$ の近似組成を有す

図4は、この発明の三
たブラッグ回折格子の回

なお、図中の符号は次の

- 1 三次元ホログラフ
- 2 レーザ光源
- 3 回折ビームスプリ
- 4 色消しレンズ
- 5 対物レンズ
- 6 アパーチャ
- 7 試料

発明を実施するための最

この出願の発明の三次
レーザパルスを回折ビーム
た複数本の光束を平行光
束を集光させて多光子露
露光して感光性材料の多
に三次元の位相ホログラ
を特徴としている。

この方法を用いること
ラッグ回折格子を、光熱
子露光が可能な感光性
フォトニック結晶を容易に
発明における“光熱屈折
行った後に熱処理するこ
ている。

とくにこの出願の発
は、光熱屈折率変化を生

フィック記録方法により形成され
値と実験値のグラフである。

置

フィック記録方法は、フェムト秒レ
で複数本の光束に分割し、分割し
後に4光束を選択し、それら4光
感光性材料に照射し4光束を干渉
起し、感光性材料内部の照射部位
ラッグ回折格子を形成させること

て単純な光学系を用いて良質なブ
生じるガラスをはじめとする多光
することができその結果良質なブ
が可能となる。なお、この出願の
るガラス”とは、“紫外光照射を
率変化が現れるガラス”を意味し

ログラフィック記録方法において
TR (photo-thermo-refractive)

請求の範囲

1. (補正後) フェムト秒レーザパルスを複数本の光束に分割し、分割した複数本の光束を平行方向に集光した後に4光束を選択し、それら4光束をさらに集光させて多光子露光が可能な感光性材料に照射し、4光束を干渉露光して感光性材料の多光子吸収を誘起し、感光性材料内部の照射部位に三次元の位相ホログラムを記録することを特徴とする三次元ホログラフィック記録方法。
2. (補正後) 感光性材料内部の照射部位に記録された位相ホログラムがブラッグ回折格子であることを特徴とする請求項1に記載の三次元ホログラフィック記録方法。
3. 形成されたブラッグ回折格子が、フォトニック結晶として利用されることを特徴とする請求項2に記載の三次元ホログラフィック記録方法。
4. 多光子露光が可能な感光性材料が、光熱屈折率変化を生じるガラスであることを特徴とする請求項1ないし3のいずれかに記載の三次元ホログラフィック記録方法。
5. 光熱屈折率変化を生じるガラスが $15\text{Na}_2\text{O}-5\text{ZnO}-4\text{Al}_2\text{O}_3-70\text{SiO}_2-5\text{NaF}-0.01\text{Ag}_2\text{O}-0.01\text{CeO}_2$ の近似組成を有するガラスであることを特徴とする請求項4に記載の三次元ホログラフィック記録方法。
6. 請求項1ないし5のいずれかの三次元ホログラフィック記録方法を行う装置であって、
 - 1) フェムト秒レーザパルスを発生させるレーザ光源、
 - 2) フェムト秒レーザパルスを複数本の光束に分割する回折ビームスプリッタ、
 - 3) 分割されたフェムト秒レーザパルスを集光させる2つのレンズ、
 - 4) 分割されたフェムト秒レーザパルスのうちの4光束を選択するアパーチャ、

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☒ **BLACK BORDERS**
- ☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- ☐ **FADED TEXT OR DRAWING**
- ☒ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- ☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**
- ☐ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- ☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**
- ☐ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- ☐ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- ☐ **OTHER:** _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.